

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-015772

(43)Date of publication of application : 21.01.1992

(51)Int.Cl. G06F 15/72

G06F 3/153

(21)Application number : 02-115996 (71)Applicant : A T R TSUSHIN SYST
KENKYUSHO:KK
NIPPON TELEGR &
TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 02.05.1990 (72)Inventor : TOMONO AKIRA
TAKEMURA HARUO
ISHIBASHI SATOSHI
AKIYAMA KENJI
TETSUYA SHINJI
YAMAGUCHI HIROYUKI

(54) VISUAL LINE FOLLOWING TYPE HIGH SPEED IMAGE GENERATION/
DISPLAY METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To reduce the calculation quantity and to generate and display the images of high quality at a high speed by producing a difference of modelling hierarchies between the vicinity and the periphery of a gazed subject.

CONSTITUTION: The balls having the prescribed radii $STh1$ and $STh2$ are supposed around the spatial gazed point positions $eo1$ and $eo2$. A model having the finer hierarchy by one stage s used at the inside of the $STh1$, and a model having a hierarchy more rough by one stage is used at the outside of the $STh2$ respectively. In other words, the inside of the $STh1$ is changed to a model (a) with a subject $obj1$, and the inside of a deformed $STh1$ is changed to a model (b) with a subject $obj2$ respectively. Thus the subject is modelled relatively fine and rough at the points close to and far from $O(w)$ respectively. Meanwhile the subject is modelled relatively fine and rough at the vicinity and the periphery of a space gazing point $eo(w)$ respectively. As a result, the calculation quantity is reduced.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's
decision of rejection]

[Kind of final disposal of application
other than the examiner's decision of
rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-15772

⑬ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成4年(1992)1月21日

G 06 F 15/72
3/153

4 5 0 A
3 2 0 M

9192-5L
9188-5B

審査請求 有 請求項の数 9 (全24頁)

⑮ 発明の名称 視線追従形高速画像生成表示方法

⑯ 特 願 平2-115996

⑰ 出 願 平2(1990)5月2日

⑱ 発 明 者 伴 野 明 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5番地 株式会社
エイ・ティ・アール通信システム研究所内

⑲ 発 明 者 竹 村 治 雄 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5番地 株式会社
エイ・ティ・アール通信システム研究所内

⑳ 出 願 人 株式会社エイ・ティ・アール通信システム研
究所 京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5番地

㉑ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉒ 代 理 人 弁理士 深見 久郎 外2名

最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

視線追従形高速画像生成表示方法

2. 特許請求の範囲

(1) 立体構造を持つ対象を二次元画面に投影して表示する視線追従形高速画像生成表示方法であって、

前記対象の構成面は、対象座標系でかつ領域の大きさを少なくとも1つの要素として階層的に記述され、

任意の視点から見たときの前記対象の構成面の前記二次元画面への投影に際して、利用者の視線または視線が前記二次元画面と交わる注視点を検出し、

視線または前記二次元画面の注視点と前記視線とを結ぶ線分が表示座標系において前記対象の構成面と最初に交差する点を空間注視点とし、該空間注視点または該点の近傍にあり、表示対象の表現に必要な特徴点からの距離を少なくとも1つのパラメータとする空間ごとに前記階層度を選択す

ることを特徴とする、視線追従形高速画像生成表示方法。

(2) 表示基準座標系原点または前記視点から対象座標系で表わされる該対象の任意の点までの距離を第2のパラメータとして前記階層度を選択することを特徴とする、請求項第1項記載の視線追従形高速画像生成表示方法。

(3) さらに、左右の眼の光学系主点近傍を視点として、該点から見た投影画像が生成されたことを特徴とする、請求項第1項または第2項記載の視線追従形高速画像生成表示方法。

(4) 前記視線と前記二次元画面とが交わる点を注視点とし、該注視点の位置を基準として、その周辺に高域遮断フィルタをかけて表示することを特徴とする、請求項第1項ないし第3項のいずれかに記載の視線追従形高速画像生成表示方法。

(5) 立体構造を持つ対象を二次元画面に投影して表示する視線追従形高速画像生成表示方法であって、

特開平4-15772 (2)

前記対象の構成面は、対象座標系でかつ領域の大きさが少なくとも1つの要素として階層的に記述され、

任意の視点から見たときの前記対象構成面の前記二次元画面への投影に際して、利用者の視線または視線が前記二次元画面と交わる注視点を検出し、

視線または前記二次元画面の注視点と前記視線とを結ぶ線分から該対象までの距離を少なくとも1つのパラメータとして、前記階層度を選択することを特徴とする、視線追従形高速画像生成表示方法。

(6) 前記二次元画面の表示基準座標系原点または視点から対象座標系で表わされる該対象の任意の点までの距離を第2のパラメータとして前記階層度を選択することを特徴とする、請求項第5項記載の視線追従形高速画像生成表示方法。

(7) 左右の眼の光学系主点近傍を視点として、該点から見た投影画像が生成されることを特徴とする、請求項第5項または第6項記載の視線

追従形高速画像生成表示方法。

(8) 前記注視点の位置を起点として、その周辺に高域遮断フィルタをかけて表示することを特徴とする、請求項第5項ないし第7項のいずれかに記載の視線追従形高速画像生成表示方法。

(9) 立体構造を持つ対象を二次元画面に投影して表示する視線追従形高速画像生成表示方法であって、

前記対象の構成面は、対象座標系でかつ領域の大きさを少なくとも1つの要素として階層的に記述され、

任意の視点から見たときの前記対象構成面の前記二次元画面への投影に際して、利用者の視線の動きから先の画像表示時刻における前記二次元画面の表示基準座標系の中の注視点である空間注視点またはこの近傍を推定し、該空間注視点またはこの近傍からの距離を少なくとも1つのパラメータとして前記階層度を選択し、予め投影画像を生成することを特徴とする、視線追従形高速画像生成表示方法。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

この発明は視線追従形高速画像生成表示方法に関し、たとえばコンピュータグラフィックスのように高速で臨場感のある画像をスクリーン上に表示するような視線追従形高速画像生成表示方法に関する。

〔従来の技術〕

3次元画像をコンピュータによって生成して表示する、いわゆるコンピュータグラフィックスの技術は、科学技術計算のシミュレーションを始めとして様々な分野に利用されつつあるが、高精度化、すなわち、画像の商品質化と高速化は相反する条件にあり、同時にこれを満たす技術は現在のところ見当たらない。つまり、品質の高い画像を生成しようとする、画像生成のために膨大な計算時間を必要とし、逆に高速、たとえば毎秒数10枚の画像を表示するリアルタイム表示を目的とすると粗い計算をせざるを得なくなり、生成画像の品質が悪くなる。

一方、コンピュータグラフィックスの適用分野は、知的符号化通信と呼ばれる画像通信の分野にも広がりがつつある。この方法では、送信側は画像認識により、送信対象の3次元構造情報を抽出し、その特徴をパラメータ化して伝送する。受信側では、予め3次元構造情報（データベース）を用意しておき、伝送されてくる特徴パラメータに基づいて、該3次元データベースを高速に変換して表示する。これらの通信方法では、受信側は送信側の3次元構造情報を基にして、任意の視点からの画像を自在に生成して表示することができるため、以下のような多くの利点をもつ。

① 受信者の視点の動きを検出し、この動きに応じた画像を表示することにより、運動視が実現できる。ここで、運動視とは、頭を動かした際に眼球の網膜上に映る画像の変化から空間を知覚する人の潜在能力のことであり、日常、前後関係が分かりにくい視覚状況下で頭を動かして認識を高めようすることはよく経験することである。すなわち、運動視をコンピュータグラフィックスに

特開平4-15772 (3)

より人工的に実現することにより、スクリーン上の画像の立体感が向上することが期待され、臨場感豊かな表示が可能となる。

② 受信者の両眼を2つの視点として、それぞれの視点からの画像を生成して表示することにより、両眼立体視を実現できる。人の両目は約6cmの距離を隔てて位置するため、頭を動かさなくとも、各目の網膜には別々な像が投影される。この異なった2つの像の対応関係は視差情報と呼ばれ、人はこれを利用して空間の立体感覚を得ている。この視差情報をもつ画像をコンピュータグラフィックスで実現することにより、スクリーン上の画像の立体感がさらに向上する。

③ その他、相手側（送信側）の人と視線を合わせて会話するような画像も容易に生成できる。

しかし、このような通信方法を実現するには、現状ではいくつかの困難がある。第1には、送信側における画像認識および特徴パラメータの抽出であり、第2には、受信側での高速かつ広視野を高解像度で表示する画像生成表示方法である。

eから見たとき、この P_i 点がスクリーンS1上のどの位置に表示されるかについて考える。表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ に対して、対象座標系 $X(obj)-Y(obj)-Z(obj)$ は既知としているので、対象座標系 $X(obj)-Y(obj)-Z(obj)$ で表わされる構造点 $P_i(obj)$ は表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ で、 $P_i(w) = M1 \cdot P_i(obj)$ のように示される。

ここで、M1は移動と回転のための変換マトリックスである。また、視点座標系 $X(e)-Y(e)-Z(e)$ も表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ で表わすことができると仮定しているので、この変換マトリックスをM2とすると、表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ からみた構造点 $P_i(w)$ は、視点座標系 $X(e)-Y(e)-Z(e)$ からみて、

$$P_i(e) = M2^{-1} \cdot P_i(w) = M1 \cdot M2^{-1} \cdot P_i(obj)$$

と表わすことができる。このように、表示基準座

通信では、実時間の処理が本質的な命題であり、従来のコンピュータグラフィックスに比べて高速化への要求は高い。

以下に、高速・高精度表示が困難な理由について詳細に説明する。

第21図は従来の代表的な3次元画像生成表示方法を説明するための図である。第21図において、スクリーンS1は、このスクリーンS1の中心を原点とする表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ で表わされる。なお、この座標系は以下の各座標系の位置関係を記述する機能を持ち、スクリーンS1とは異なる別な場所に設けてもよいものとする。視点座標系 $X(e)-Y(e)-Z(e)$ は、表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ からみて位置と座標軸の回転角が既知になっている。表示対象物体objは3次元構造を持ち、この対象の構造点 $P_i(obj)$ は対象座標系 $X(obj)-Y(obj)-Z(obj)$ で表わされているものとする。

このような状況において、構造点 P_i を視点O

標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ と対象座標系 $X(obj)-Y(obj)-Z(obj)$ および表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ と視点座標系 $X(e)-Y(e)-Z(e)$ との関係がわかれば、対象座標系で示された構造点 $P_i(obj)$ は視点座標系で自在に表わすことができる。

ここで、視点座標系で示された構造点 $P_i(e)$ のスクリーン上の点を求めるために、正規透視座標系と呼ばれる $X(np)-Y(np)-Z(np)$ を考える。この座標系は視点座標系の $Z(e)$ 軸上に原点 $O(np)$ があり、視点座標系でハッチした視野ピラミッドと呼ばれる領域A、B、C、D、 $A(\infty)$ 、 $B(\infty)$ 、 $C(\infty)$ 、 $D(\infty)$ が、一点鎖線で示した直方体A、B、C、D、 $A'(\infty)$ 、 $B'(\infty)$ 、 $C'(\infty)$ 、 $D'(\infty)$ に一致する対応関係がある。直方体の $Z(np)$ 軸方向は1に正規化してあるものとする。すなわち、 $Z(np) = 0$ 点は、 $Z(e)$ 軸のhに対応し、 $Z(np) = 1$ の点は $Z(e) = \infty$ に対応する。

特開平4-15772 (4)

この条件で第21図に示す棒状物体objは正規透視座標系 $X(np) - Y(np) - Z(np)$ では一点鎖線で示すように、 $Z(np)$ 軸の大きな方では断面が小さくなる。この視点座標系と正規透視座標系との変換は 4×4 のマトリックス M_3 で示すことができる。したがって、 $Pi(np)$ は、

$$Pi(np) = M_3 \cdot Pi(e)$$

で表わすことができる。ここで、 $Pi(np)$ をA、B、C、D面に平行投影すると、点線で示す $Fi(s)$ が得られる。

第21図では、説明の簡単のため、正規透視座標系 $X(np) - Y(np) - Z(np)$ は表示基準座標系 $X(w) - Y(w) - Z(w)$ と原点および軸方向が重なっているものとしている。したがって、視点座標系の $Z(e)$ 軸は、表示基準座標系の $Z(w)$ 軸と同一方向である。

この場合、直方体A、B、C、Dがスクリーン S_1 の大きさに対応する。したがって、 $Fi(s)$ がすなわち視点 $O(e)$ から見たスクリーンへの投

影像である。このように、構造点 $Pi(obj)$ から $Fi(s)$ へは3つの行列演算と平行投影が必要である。

次に、視点が表示基準座標系の $Z(e)$ 軸からずれる場合について説明する。第21図において、 $O'(e)$ は移動した視点位置である。この移動した点を原点とし、 $O'(e) - O(w)$ 線を $Z'(e)$ 軸とする新しい視点座標系 $X'(e) - Y'(e) - Z'(e)$ を考える。表示基準座標系 $X(w) - Y(w) - Z(w)$ から見た該新視点座標系の位置を既知とすると、 $X(e) - Y(e) - Z(e)$ から $X'(e) - Y'(e) - Z'(e)$ への変換はマトリックス M_4 を介して可能である。したがって、新視点座標系から見た構造点 Pi は、 $Pi(e)' = M_4 \cdot Pi(e) = M_4 \cdot M_1 \cdot M_2^{-1} \cdot Pi(obj)$ で表わされる。

第22図は第21図の $Y(w)$ 軸上から見た図である。 $Pi(e)'$ に前述の正規透視投影変換マトリックス M_3 をかけると、 $Pi'(np)$ が

得られ、これを平行投影すると $Fi'(s)$ が得られる。ここで、表示基準座標系から見た新視点座標系 $X'(e) - Y'(e) - Z'(e)$ の位置が既知のため、 $Fi'(s)$ と $O'(e)$ とを結ぶ線がスクリーンと交わる点を求めることは容易である。この点 $Fi'(s)$ がすなわち、視点 O' から見たスクリーンへの投影像である。このように、構造点 $Pi(obj)$ から $Fi'(s)$ へは4つの行列演算と平行投影などが必要である。

上述のごとく、表示基準座標系 $X(w) - Y(w) - Z(w)$ において、対象座標系 $X(obj) - Y(obj) - Z(obj)$ の位置が記述された表示対象、また対象座標系において各構造点 $Pi(obj)$ の座標が記述された表示対象は、任意の視点からスクリーンに透視投影できる。しかし、上述のごとく、多くの行列演算を表示対象の構成点の全てについて行なう必要があるため、計算時間が膨大になる。マトリックスの演算はハードウェア化することにより、かなり高速にはなるが、構成点の数が数1000点以上になるとり

アルタイムの処理が難しくなる。また、表示対象の位置によって無駄な処理が多く行なわれ、処理速度を制限している。これについて以下に示す。

第23図は第21図に示した座標系を $Y(e)$ 軸上でかつ $Z(e)$ 軸方向に見たものであり、第24図は第23図に示した表示対象を示す図である。

第23図において、スクリーン S_1 は多数の画素 gi からなる。表示対象は、第24図に示すように3次元構造をもち、構造点 Pi とその点がつくる構造面 Li などによって構成されている。この表示対象が表示基準座標系において近くにある場合を第23図(A)で示し、遠くにある場合を第23図(B)で示し、それぞれobj1、obj2とする。第21図および第22図で説明した方法により、スクリーン S_1 には表示対象 $h - obj1$ 、 $h - obj2$ が投影される。各構成点のスクリーン座標上の対応する画素に信号を送り表示することができる。obj2は遠方にあるため、 $h - obj1$ に比べて各構成点間の距離が小さい。

特開平4-15772(5)

この間隔が画素間隔よりも十分小さくなれば、その画素の中にはいくつもの構成点を全て計算する必要がなくなる。また、人の目には視力特性があり、スクリーンS1面においてこの眼の分解能以下の間隔で各構成点を計算しても意味がない。

既存のアルゴリズムでは、表示対象の位置にかかわらず、また利用者の視力特性を考慮することなく、対象の全ての構成点について計算するため、表示速度が遅くなり、複雑な対象をリアルタイムで表示することが困難となる。

[発明が解決しようとする課題]

上述の問題は立体視コンピュータグラフィックスを実現する際に特に問題となる。立体視コンピュータグラフィックスとは、利用者の右目、左目を視点として、3次元表示対象を見たときのスクリーンへの透視画像を別々に計算し、これを時分割などにより利用者の左右の各目に対応したスクリーンに投影することにより、利用者に立体的と感じさせる表示を行なう手法である。

立体視表示では、奥行き間隔が利用者にはつき

りと認識されるため、本来大きな物体（たとえば、ビルディングなど）は大きく、小さな物体（たとえば、虫など）は小さくモデリングする必要が出てくる。立体視でないコンピュータグラフィックスでは、物体を大きくモデリングしなくても視点の近くに配置することで大きく見せる工夫が可能である。ところが、立体視では奥行き間隔が視差情報により与えられるため、小さなものを手前においても、大きな物体とは認識されず、そのとおり小さなものが手前にあるように見えてしまう。

物体を本来の大きさにモデル化すると、大きな物体は、その物体が視点の近くに来てスクリーン一杯に広がる場合も想定すると細部に至るまで細かくモデル化する必要がある。一方、該物体が視点から遠くに離れた場合には、第23図(B)に示すように、スクリーンの一部分にその全体が表示されるにもかかわらず、近くにある場合と同じ計算量を必要とする不合理がある。

以上、高速のコンピュータグラフィックスの必要性について述べたが、コンピュータグラフィッ

クスがリアルタイムであっても、応用によっては不都合がある。臨場感通信では、仮想的な空間をコンピュータグラフィックスにより人工的に作り、この中に実際に居る感覚で該仮想空間とは様々な相互作用をすることになる。この際求められるのは、単に高速というだけでなく、観測者の動きに同期してスクリーンの画像を変化する特性である。しかし、コンピュータグラフィックスでは画像を生成するための時間が必ず残るため、毎秒数10枚の画像を生成し、表示できても、観測者の動きに対して各画像を生成する遅れ時間があれば、違和感を生じ、仮想空間との一体感が得られない。

さらに、人の視力特性は、後述するように注視点近傍では高いが、その周辺では大きく低下する。これは、眼球の光軸から外れた網膜部分では焦点が合わないという眼本来の性質がその1つの理由である。したがって、人工的に画像を生成表示する場合には、網膜に写る画像が実空間を見たときに近くなるように、スクリーン画像を生成する必要がある。つまり、臨場感表示の観点からはスク

リーン全体を一律のアルゴリズムで高精細に表示するのは必ずしも適切でない。

それゆえに、この発明の主たる目的は、知的符号化通信や立体視コンピュータグラフィックスに必要なリアルタイムで精度の高いコンピュータグラフィックス表示を、計算量を大幅に少なくすることにより実現し得る視線追従形高速画像生成表示方法を提供することである。

この発明の他の目的は、運動視を実現するコンピュータグラフィックスなどにおいて、画像を生成してから表示するまでの時間遅れを少なくし、違和感のない自然な表示を実現し得る視線追従形高速画像生成表示方法を提供することである。

さらに、この発明のさらに他の目的は、網膜に写る画像が実空間を見たときに近くなるように、スクリーン画像を生成することにより、実空間を見たときと同じような感覚の画像を実現し得る視線追従形高速画像生成表示方法を提供することである。

[課題を解決するための手段]

特開平4-15772(6)

第1請求項に係る発明は、立体構造を持つ対象を二次元画面に投影して表示する視線追従形高速画像生成表示方法であって、対象の構成面は対象座標系でかつ領域の大きさを少なくとも1つの要素として階層的に記述され、任意の視点から見たときの対象の構成面の二次元画面への投影に際して、利用者の視線、または視線が二次元画面と交わる注視点を検出し、視線または二次元画面の注視点と視線とを結ぶ線分が表示座標系において対象の構成面と最初に交差する点を空間注視点とし、その空間注視点またはその点の近傍にあり、表示対象の表現に必要な特徴点からの距離を少なくとも1つのパラメータとする空間ごとに階層度を選択するように構成したものである。

第5請求項に係る発明は、立体構造を持つ対象を二次元画面に投影して表示する視線追従形高速画像生成表示方法であって、対象の構成面は対象座標系でかつ領域の大きさを少なくとも1つの要素として階層的に記述され、任意の視点から見たときの対象構成面の二次元画面への投影に際して、

利用者の視線または視線が二次元画面と交わる注視点を検出し、視線またはその注視点と視点とを結ぶ線分からその対象までの距離を少なくとも1つのパラメータとして階層度を選択するように構成したものである。

第9請求項に係る発明は、立体構造を持つ対象を二次元画面に投影表示する視線追従形高速画像生成表示方法であって、対象の構成面は対象座標系でかつ領域の大きさを少なくとも1つの要素として階層的に記述され、任意の視点から見たときのその対象構成面の二次元画面への投影に際して、両者の視線の動きから先の画像表示時刻における表示基準座標系の中の注視点である空間注視点またはこの近傍を推定し、その空間注視点またはこの近傍からの距離を少なくとも1つのパラメータとして階層度を選択し、予め投影画像を生成するように構成したものである。

より好ましくは、第1または第3請求項に係る発明に加えて、第2または第6請求項に係る発明は、表示基準座標系原点または視点から対象座標

系で表わされるその対象の任意の点までの距離を第2のパラメータとして階層度を選択するように構成される。

さらに、より好ましくは、第3または第7請求項に係る発明は左右の眼の光学系主点近傍を視点とし、その点から見た投影画像が生成される。

第4、第8または第10請求項に係る発明は、第1、第5、第9に係る発明に加えて、視線と二次元画面とが交わる点を注視点とし、その注視点の位置を起点として、その周辺に高域遮断フィルタをかけて表示するように構成される。

【作用】

第1請求項に係る発明は、人の眼の視力が注視している点では高く、その周辺では急激に低下する特性を利用して、表示対象を領域の大きさ、すなわちスケールを1つのパラメータとして階層的にモデリングし、表示対象の注視部分は細かなモデリング階層まで表示し、注視部分から外れた周辺視に対応する表示対象部分は粗いモデリング階層で表示することにより、周辺視部分の計算量を

減らして高速化を図る。

第5請求項に係る発明は、視線または二次元画像の注視点と視点とを結ぶ線分から対象までの距離を少なくとも1つのパラメータとして階層度を選択することにより、立体視コンピュータグラフィックス画像を高速、高品質で生成する。

第9請求項に係る発明は、人の視線の動きを検出して、この検出結果をコンピュータグラフィックスに反映する場合に問題となる画像生成時間の遅れによる表示の違和感を解消し、より自然な画像を得る。

第2および第6請求項に係る発明は、対象が表示基準座標系原点または視点に近くにある場合は、細かなモデリング階層まで表示し、遠くにある場合は、粗いモデリング階層で表示することにより、遠くの物体について計算量を減らし、高速化を図るという第2の特徴を第1および第5請求項に係る発明と組合わせたものであり、表示基準座標原点または視点から遠く、かつ周辺視に対応する部分については大幅に計算量を減らし、高速化を図

特開平4-15772 (7)

る。

第3および第7請求項に係る発明は、観測者の眼の光学系主点近傍を視点として、その点から見た投影画像を生成する。

第4、第8、第10請求項に係る発明は、注視点の位置を起点として、その周辺に高域遮断フィルタをかけて表示することにより、周辺視に対応する表示対象の各部分を粗いモデリング階層で表示することによる不自然さを補償する。粗いモデリング階層で表示すると、スクリーン投影画像において、表示対象の構成面と構成面との間には不連続性が多くなり、この部分に高い周波数成分が発生するが、周辺部分に高域遮断フィルタをかけることにより、この違和感を生じさせる成分を除去できる。

[発明の実施例]

第1図はこの発明の原理を示す図であり、第2図は第1図に示した表示対象の階層的なモデリングを示す図である。

第1図を参照して、この発明の原理について説

り表わされるデータ構造をワイヤフレーム構造と呼ぶことにする。

ベクトル $VO1$ 、 $VO2$ はそれぞれ表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ の原点 $O(w)$ から表示対象 $obj1$ 、 $obj2$ の対象座標系原点 $obj1$ 、 $obj2$ へのベクトルである。第1図において、スクリーン $S1$ の観察者である利用者2は両眼 $eye1$ 、 $eye2$ によって表示対象 $obj1$ 、 $obj2$ を見る。視線 10 はスクリーン $S1$ と点 ep で交わる。この点 ep をスクリーン注視点と呼ぶ。 $X(e)-Y(e)-Z(e)$ 、 $X'(e)-Y'(e)-Z'(e)$ は視点座標系であり、 $eo1$ は $O'(e)$ とスクリーン注視点 ep とを結ぶ線分が表示対象と交わる点である。構造点 $Pi(obj)$ は第2図に示す粗い階層の表示対象モデルにおける特徴点である。

ここで、視線 10 は眼球の特徴点を2台のカメラで捕え、このカメラ撮像面の位置情報からステレオ画像計測することにより、その位置を表示対象座標系で求めることができる。特徴点としては、

明する。表示装置のスクリーン $S1$ は、その原点 $O(w)$ を基準として表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ で表わされる。なお、表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ は以下に示す他の座標系の基準となる座標系で、第1図におけるスクリーン $S1$ とは異なる別なところに設けてもよい。表示対象 $obj1$ 、 $obj2$ は、第23図に示した従来例と比べて構造データの持ち方が異なっている。

すなわち、第2図に示すように、表示対象は複数の構造点 Pi とその構造点 Pi の集合により作られる構造面(第2図においては、4つの構造点により囲まれる面として定義される)などにより記述される。また、各構造点は対象座標系 $X(obj)-Y(obj)-Z(obj)$ により表わされる。第2図での階層の設定は、各構造点間の距離または構造面の大きさが所定の大きさを越えるごとに構造点の数を減らしていき、(a)～(d)に示すように、全体で4段階の階層としている。このような構造点とその点を結ぶ線分によ

瞳孔中心、または表示対象座標系で既知な点に設定した光源が角膜で反射したときに作る角膜反射象などを用いることがある。その詳細は、特徴点抽出については、本願発明者等による「非接触視線検出装置」(特願昭63-289761)。

「画像撮影装置」(特願平1-181387)を用い、瞳孔の位置計測については、「視線検出方式」(特願平1-296900)を用いることによって可能になる。また、第1図における $eo1$ 点またはその近傍の特徴点(たとえば $Pi(obj)$)は、従来例で述べた Pi 点をスクリーン $S1$ に透視投影変換する手法の逆変換で求めることができる。

第3図および第4図はスクリーン注視点 $ep(s)$ に対応するモデル上の点を求める方法を説明するための図である。

第3図および第4図では、発明の簡略化のために、 $Z(w)$ 軸上の視点 $o(e)$ がある場合を示している。表示対象は第2図に示したような物体であり、スクリーン注視点 $ep(s)$ に対応する

特開平4-15772 (8)

対象の位置を求めるには、高速化を図るため粗いモデリング階層を行なう。第2図(d)に示した対象を第3図の対象objとして、各構成点 $P_i(w)$ の正規透視変換点を $p_i(np)$ とする。粗いモデルであれば、この変換は高速に可能である。なお正規透視変換点 $p_i(np)$ のスクリーン $S_1(ABCD)$ への平行投影点を $f_i(s)$ とする。

ここで、第4図に示すようにスクリーン注視点 $e_p(s)$ がわかると、この点から出発し、 $Z(np)$ 軸に平行な探索線20上を探索し、探索線20が正規投影された対象と交わる点を求めることができる。正規投影された対象30の構成点301~303などが正規透視座標系 $X(np)-Y(np)-Z(np)$ で与えられていれば、構成面301と交わる点 $e_h(np)$ を求めることは簡単である。

また、構成面が与えられていない場合でも、第4図に示すように、探索線20上に ΔS をとり、この面を線上に走査し、その面内に最初に入る構

造点 $p_i(np)$ を求めることもできる。ここで、点 $e_h(np)$ 、 $p_i(np)$ を表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ に逆変換すれば、スクリーン注視点 $e_p(s)$ に対応する空間注視点 $e_o(w)$ またはこの近傍にある $P_i(w)$ を求めることができる。

なお、 $P_i(w)$ については、スクリーン注視点 $e_p(s)$ から少し離れた対応点である。細かい階層のモデルを使わない理由は、第3図の実施例の探索では、表示対象の各構成点の正規透視座標変換データが既にあることを前提としているため、細かいモデリング階層を用いることは速度の点で矛盾するためである。しかし、この発明の一実施例では、毎秒数枚~数十枚を表示する場合を考えており、このような速度では、時間的に連続した2つのモデル間には変化が少ないと考えられる。

また、次に表示されるすぐ前の画像を生成するためのモデリング情報およびこの正規透視変換データは既に存在している。そこで、この1つ前の

データを用いて探索すれば、スクリーン注視点 $e_p(s)$ に対応する表示対象位置を精度良く求めることも可能である。このようにして、スクリーン注視点 $e_p(s)$ に対応する空間注視点 $e_o(w)$ またはこの近傍の位置を求めることは可能である。

なお、この発明における空間注視点 $e_o(w)$ の近傍とは、視線の近くにあり、注視していると判断される対象の構成点、構成面あるいはその対象座標系原点などとする。以上の探索は、簡単な理論演算と座標変換演算で可能であり、ハードウェア化が可能である。

第5図はモデルの階層を選択する方法を説明するための図である。第5図を参照して、表示基準座標系原点 $O(w)$ または視点 $O'(e)$ から対象座標系の原点へのベクトル VO_1 または VO_2 の絶対値、すなわち、距離が $O(w)$ を中心とする所定の距離(Th_1 または Th_2)内にあるか否かにより、モデルの階層を選択する。対象obj1については、距離 Th_1 の内側であり、第2

図(b)に示す階層が選択され、obj2については距離 Th_2 の内側であり、第2図(c)に示す階層が選択される。

次に、空間注視点位置(第5図では2つの例を示している。)を考え、それぞれを e_{o1} 、 e_{o2} とし、この点のまわりに所定の半径 STh_1 、 STh_2 の球を仮定する。なお、第5図に示した例は、第1図に示した e_{o1} と $P_i(obj)$ が重なった場合を考える。半径 STh_1 の内側については、1段階さらに細かい階層のモデルを用いる。半径 STh_2 の外側については、第5図には示していないが、1段階粗い階層モデルに変更する。すなわち、対象obj1については、半径 STh_1 の中を第2図(a)に示すモデルに変え、対象obj2については半径 STh_1 の中を第2図(b)に示すモデルに変える。以上のようにして、 $O(w)$ から近くは相対的に細かく、遠くは粗く、また空間注視点 $e_o(w)$ の近傍では相対的に細かく、周辺では相対的に粗くモデリングした対象が用意される。該モデルの各構成点を従来

特開平4-15772 (9)

の方法でスクリーンS1に投影変換すれば表示画像が得られる。

第6図はこの発明の他の例におけるモデルの階層を選択する方法を説明するための図である。第6図を参照して、 e_{o1} 、 e_{o2} は空間注視点の位置であり、 Th_1 は e_{o1} を中心とする半径であって、 $O(w)$ から対象座標系原点までの距離 d_1 (V_1 の絶対値)の関数である。該関数は d_1 が小さい場合、半径 Th_1 を大きくし、距離 d_1 が大きい場合、半径 Th_1 を小さくするように作用する。第6図に示した例では、空間注視点の位置 e_{o1} のまわりの Th_{1-1} は空間注視点 e_{o2} の半径 Th_{1-2} より大きい。半径 Th_1 の中では、第2図(a)が選択され、半径 Th_1 から Th_2 の間では第2図(b)が選択され、半径 Th_2 から Th_3 の間では第2図(c)が選択され、半径 Th_3 から Th_4 の間では第2図(d)が選択される。以上のように、空間注視点 $e_o(w)$ を中心として精細度が段階的に異なるモデルが得られる。

の原点までの距離をパラメータとする方法も有効である。

第7図は2次および3次のBezier曲面を示す図である。第7図(a)に示した例は2次と3次($n=2, 3$)の場合であり、次式で表わされる。

$$R(t:3) = (1-t+tE) \cdot P_0$$

Bezier曲線は $t=0$ のとき、 P_0 の制御点から出発し、 $t=1$ のとき、終りの制御点($n=2$ の場合は P_2 、 $n=3$ の場合は P_3)に到達する。曲線はこの間を制御点の近くを滑らかに連結する。制御点の数を増やすことは、次数を増やすことに相当し、曲線の表現力が増す。

Bezier曲面はBezier曲線の積の形で次式のように表わされる。

$$S(u:m, v:n) = (1-u+uE)^m (1-v+vF) \cdot P_{00}$$

$$(0 \leq u \leq 1) \quad (0 \leq v \leq 1)$$

E, F はシフト演算子であり、 $EP_{ij} = P_{i+1, j}$ 、 $FP_{ij} = P_{i, j+1}$ の作用をなす。

なお、前述の第1図、第5図および第6図に示した例では、表示基準座標系 $X(w) - Y(w) - Z(w)$ の原点 $O(w)$ を起点として、対象座標系の任意の点までの距離をパラメータとしたが、視点原点($O(e)$ または $O'(e)$ など)を起点としてもよい。この場合表示対象は動かなくても視点が動いた場合、その都度階層度を変更する手順はあるが、対象の細部を認識する人の視力特性が視点からの距離に大きく依存することを考慮すると、より合理的な階層度選択ができるといえる。

また、後述のように、両眼立体視コンピュータグラフィックスなどでは、表示対象がスクリーンS1の手前に表示される場合もあるが、このような場合は、第1図に示したように、 $O(w)$ からの距離をパラメータとすると、視点 $O(e)$ の近くにある物体にもかかわらず、スクリーンS1のすぐ後(奥)にある物体より、粗い階層が選択されるという不合理も生ずることになる。したがって、計算の複雑さがあるが、視点から対象座標系

第7図(c)、(d)は、2次、3次のBezier曲面を示す。3次の場合、 P_{00} から P_{33} まで16個の制御点を用意しておくことにより、この間を滑らかに結ぶ自由曲面が生成される。

このように、部分領域を適応的に決め、この領域を記述するに十分な制御点を選択すれば、細かい滑らかな表面をもつ面となる。一方、部分領域を大きくとり、制御点の数を少なくすれば、粗い表面の面となる。以上、部分領域の中の制御点の数をパラメータとして階層化する例を示した。

さらに、前述のBezier曲面式では、構成点は制御点と u, v の値の取り方により決まる。そこで、所定の制御点を決めておき、 u, v がとる間隔を階層パラメータとしてもよい。すなわち、第7図(d)において、制御点が16個で一定としても、 u, v の間隔 Δ の決め方によって構成面は粗にも密にもなる。間隔 Δ を小さくすれば該構成面は第7図(d)よりさらに分割され、小さな構成面が多く生ずる。このように、 Δ をパラメータとして領域の大きさを階層化することもできる。

特開平4-15772 (10)

次にスクリーンへの表示の方法としては、第1図に示すように、①ワイヤフレームを透視投影した点と線を表示する単純な方法の他に、②構造面には色データを用意しておき、表示の際に色づける。③各構造面にはテクスチャマップと呼ばれる絵柄をデータとして用意しておき、この絵柄を構造面の方向、位置によって回転、移動、縮小、拡大などの処理を施してスクリーン上に表示する。④表示基準座標系において、所定の所に光源を仮定し、視点からみた各構成面の該光による陰影を構成面ごとに計算して表示することなどが可能である。

一例として等身大の人物石膏像をBezier曲面でモデル化する場合について説明する。この石膏像を細部までわかるようにモデル化するためには、制御点の数は約5000必要であった。すなわち、この5000個の制御点を第7図(d)に示すように、 4×4 の制御点のかたまりに分割し、さらに、この 4×4 の制御点で決まる部分領域内を u 、 v の値を選ぶことにより10分割して

細分化する。このようにして、50万個の構造点による構造面が形成される。この程度分割して表示面を作ると、細部まで細かく認識できる画像が得られる。

一方、人物か否かが判別できる程度であれば、制御点は数10～100程度でよく、さらに u 、 v も数分割でよい。つまり、100程度の構造点で表現できる。このように、人物程度の対象でも表示する環境、必要性により100～数1000倍のデータ量の差がある。つまり、階層化は、領域の大きさに関して、多様に選択可能である。

第8図はこの発明のさらに他の例であって、視点を観測者の眼球光学主点に示した例を示す図である。光学主点は瞳孔または虹彩の中心位置で近似することができ、その位置および視線方向は表示基準座標系で前述のようにわかるものとする。第8図において、表示対象obj11、obj12、obj13、obj14は第2図の階層を持つ同一大きさのモデリング物体であり、O(obj12)はobj12の原点であり、e1はスク

リーン注視点ep(s)と視点O(e)を結ぶ線分(すなわち視線)であり、d3、d4、d5、d6は線分e1から各対象物体obj11～obj14の対象座標系原点(たとえばO(obj12))までの距離であり、V12は視点O(e)からO(obj12)へのベクトルであり、221、222は線分e1上でそれぞれO(obj11)、O(obj13)に最も近い点である。

各表示対象の対象座標系および視線がともに表示基準座標系で表わされるため、上述の各距離を求めることは可能である。このように、第8図では、表示対象obj11、obj12は相対的に視点O(e)の近くにあり、表示対象obj13、obj14は遠くにある。また、表示対象obj11、obj13は線分e1の近くにあり、表示対象obj12、obj14は線分e1から離れて位置する。モデルの階層選択法について例を示す。

ベクトルV12の絶対値を距離d12とし、1つのパラメータとする。また、線分e1から対象

obj12の原点O(obj12)までの距離d5を2つ目のパラメータとし、 $f(d12, d5)$ なる関数の値によってモデルの階層を選択する。 f は距離d12またはd5の値が小さいほど小さくなる。したがって、対象座標系が視点の近くにありかつ線分e1に近い対象obj11では第2図(b)に示す階層が選択され、視点から遠くて線分e1からも遠い対象obj14では第2図(d)に示す階層が選択される。また、視点からの距離と線分e1からの距離のいずれかが近く、他方が遠い対象obj12、obj13では第2図(c)に示す階層が選択される。

また、第8図において、視点O(e)から221または222までの距離を1つのパラメータとし、距離d5を第2のパラメータとして f なる関数を作ってもよい。

第8図では、線分e1から対象座標系の原点までの距離d3、d4、d5、d6をパラメータに用いたが、該パラメータは原点である必要はなく、たとえば第9図に示すように、各構成面の位置が、

特開平4-15772 (11)

その面の中心位置などに与えられている場合には、この距離をパラメータとして用いることもできる。第9図では、線分251は線分e1の近くにあるため、対応する面300は第2図(b)に示す階層でモデル化され、線分252、253は線分e1からやや離れているため、第2図(c)に示す階層のモデルが選択される。

さらに、表示対象は複数の構造物で構成されており、本体に対応する主対象座標系と該本体の一部または付属物に対応する副対象座標系を持つものでもよい。この場合、副対象座標系原点と線分e1との距離をパラメータに用いることができるのは当然である。

第10図は人間の眼が平面の場合の一点を注視したときのその周辺の視力を測定し、注視点からの偏角と相対視力との関係を示す図である。第10図において、横軸は注視点からの偏角であり、縦軸は注視点の視力で正規化した相対視力である。第10図に示した2本の曲線は、指標提示時間により視力特性が変化することを示したものである。

対象の任意の点(たとえば対象座標系原点)までの距離を1つのパラメータとして、該モデル構成面の精細度に重みづけするのは計算量を減らす点から合理的と言える。また、本来ピントが合わず、ぼけが生じている箇所について、精細に表示するのは、現実と異なるため、違和感を生じかねない。ぼけのある画像を提示した方が実際に近い場合がある。このように、この発明の方法は単に処理を高速にするだけでなく、臨場感を実現するにも効果がある。

第11図はこの発明のさらに他の例を示す図である。第11図を参照して、表示対象objで各構成点および構成面データは、該表示対象objの対象座標系と表示基準座標系の関係が既知であれば、表示基準座標系 $X(w)-Y(w)-Z(w)$ で表わすことができる。2つの視点O(e)L、O(e)rはそれぞれ観察者の左右眼球光学系の視点に対応する。視点の位置および視線の方向は前述のステレオ画像計測法などにより、表示基準座標系で求めることができる。左右の眼の視

毎秒30枚程度の速度で表示する動画では、この2本の曲線の範囲に入ると考えられる。長く提示した方が視力特性が良いことがわかるが、ともに周辺で視力が大きく低下することがわかる。この理由は、視線の方向から外れた周辺の視覚対象は光学的に網膜上に結像せず、ぼけを生じていること、および視線方向の網膜中心窩から外れた網膜部分では分解能が低いためである。

さらに、実行に変化がある対象を捕えるときは、幅域を変え、水晶体を調節してピントを合わせる。つまり、視線が対象の方向を向いていても、ピントが合っていないればやはりぼけが生じることは日常経験することである。以上のことから、実空間でははっきり見えている部分は視線と調節が制御されているごくわずかな部分といえる。その他の部分は大きなぼけを生じている。このような状況を踏まえ、人が見ている空間をコンピュータグラフィックスで生成するにあたり、①スクリーン注視点に対する空間注視点を検出し、その点からの距離を1つのパラメータとして、②視線からその

線がわかると、2つの視線が交わる点が、該観測者が注意している対象位置である。視線の計測精度によってはこの点は誤差を含むが、第8図に示した視点と注視点を結ぶ線分(第11図では視線に等しい)の近くにある対象を求める方法を、左右の眼の視線について行なえば、注視している対象を同定することは第8図の場合より容易である。

この空間注視点(またはこの近傍)をeoとする。空間注視点eoのまわりに半径Thの球を仮定し、その球内は第2図(b)に示した階層でモデル化され、球の外は第2図(d)の階層でモデル化される。左右の像hobj(L)、hobj(R)はそれぞれスクリーンに投影される。この例において、2つの視点O(e)L、O(e)Rおよび視線は観測者の動きに応じて常に変化するため、この変化をリアルタイムで検出し、左右の像hobj(L)、hobj(R)を同様にリアルタイムで再生して表示する。これにより、観測者は頭を動かして表示対象objを左右、上下など様々な方向から見る事ができる。また、

特開平4-15772 (12)

このとき2つの像は $h-o b j (L)$, $h-o b j (R)$ は視差情報を持っているため、観測者は対象 $o b j$ を立体的に比較できる。

さらに、対象 $o b j$ がスクリーン $S1$ の手前に来たたと仮定したような画像を作ることもできる。この方法では、表示の遅れが許されない。つまり、観測者の眼を視点としているため、その動きに同期して画像を生成して表示しなければ違和感を生ずる。許される遅れは、 $1 \sim 2/30$ 秒程度と考えられる。したがって、高速性に有利なこの発明の方法が効果的に作用する。

なお、この実施例では、生成した画像を表示するために、両眼立体視表示装置を用いることができる。この装置の具体例については、本願発明者等による「立体表示装置」(特願平2-18051)などが可能である。この装置の構成は、表示面にレンチキュラーレンズと称される薄針状レンズシートを設け、その各レンズの背面に焦点を挟んで両側に右眼用の画素、左眼用の画素を配置したものである。すなわち、2つの画素が1組とし

て1つの薄針レンズに対向して配置される。2つの画素から出る光はそのレンズにより空間的に分離され、観測者の左右の眼に別々に入射する。このようにして、特別な装置を装着することなく立体視が可能となる。

第12図はこの発明のさらに他の例を示す図であって、観測者の動きに対する遅れをさらに少なくした例である。第12図を参照して、表示対象 $o b j 1$, $o b j 2$ は第2図に示したモデル物体であり、表示基準座標系 $X(w) - Y(w) - Z(w)$ で表わされる。視点かつ眼球の視点 $O(e)$ は瞳孔または虹彩の中心位置で近似される。視線 $e1(1)$, $e1(0)$ は眼球の回転に伴って変化する。瞳孔位置および視線は表示基準座標系 $X(w) - Y(w) - Z(w)$ で表わされる。空間注視点 $e o$ は視線延長上にある。視線から表示対象 $o b j 1$ までの距離は $d(-1)$, $d(0)$ で表わされる。

第12図では、毎秒10～30枚程度の画像が生成表示される場合を示しており、したがって、

(0) , (-1) , $(+1)$ の各点は100～33 msec程度の間隔である。現在 (0) , 1つ前の状態 (-1) における階層は以下のように選択される。第8図で述べた視線から対象までの距離がパラメータの1つとして用いられる。 (-1) では、表示対象 $o b j 2$ は視点から離れているが、視線上にあるため、第2図(c)に示す階層が選択される。表示対象 $o b j 1$ は視点の近くにあるが、視点から少し離れているため、同様にして第2図(c)に示した階層が選択される。このようにして、 $h-o b j 1(-1)$, $h-o b j 2(-1)$ が生成されて表示される。また、 (0) では表示対象 $o b j 2$ は変わらないが、表示対象 $o b j 1$ は視線からさらに離れるため、第2図(d)に示した階層が選択される。このようにして、 $h-o b j 1(0)$, $h-o b j 2(0)$ が生成されて表示される。

次に、視線の動きを予測した表示について説明する。眼球の運動には大きく分けて、動く指標を追跡する際の滑らかな随従運動、興味ある対象を

探索する際などに見られる跳躍運動とがある。随従運動では停止した指標を見る際に比べて、視力の低下は少ない。一方、跳躍運動では、注視点が移動した直後は、一時、視力が大きく低下する。第12図は空間注視点を注視しながら頭を動かしている状態を示しているが、このようなときの視線の動きは滑らかであり、軌跡から次の画像を表示する時刻における視線表示基準座標系 $X(w) - Y(w) - Z(w)$ で求めることは容易である。すなわち、 $O(e)(-i) \sim O(e)(0)$, $e1(-i) \sim e1(0)$ から $O(e)(+1)$, $e1(+1)$ を外挿により求めることは可能である。そこで、 $O(e)(+1)$ から見た対象の透視投影画像 $h-o b j 1(+1)$, $h-o b j 2(+1)$ を予め生成し、 $(+1)$ の時刻に表示する。

またこの実施例の場合には、 (-1) , (0) の時刻における空間注視点が $e o$ であり、変化していないため、 $(+1)$ においても取り敢えず同じ点を注視していると仮定して $h-o b j 1(+1)$

特開平4-15772 (13)

1)、 $h - o b j 2 (+1)$ を生成しておくことも可能である。このとき、観測者は $o b j 2$ に関心があると推定することも可能であるため、モデルの階層を (0) の場合より1つ上げ、第2図 (b) に示す階層とすることもできる。このように、注視対象を同定し、その対象を適応的に細かい階層で表示することも可能である。また、注視対象の同定には、表示対象の位置関係、対象の意味、観測者の注視対象の遷移、など様々な知識を併用することができる。

この発明による方法は、視線が滑らかな動きのときは予測しにくい問題が少ないが、跳躍運動が混入すると、予測が外れるため、一見不合理と感じられる。しかし、以下のような理由で問題ない。すなわち、前述のごとく、視力は視線の動きと密接であり、跳躍運動の直後は視力が低下し、回復するのに 200 msec 以上の時間を必要とする。したがって、仮に予測した視点が間違っている場合でも、表示された画像について、観測者の視力は大きく低下しているため違和感は少ない。

原画像がそのまま表示される) とされ、 $14 \sim 20^\circ$ の領域では 4.5 cpd 、 20° 以上では 1.0 cpd としている (なお、 cpd とは視野角 1° 中に表示可能な空間周波数である)。このフィルタはハードウェアで構成でき、スクリーン注視点 $e p (s)$ の動きに追従してリアルタイムで表示画像に作用させることが可能である。このフィルタの設計では中心視部と周辺視部の解像度差および中心視部の視野角などをどの程度にするかが課題である。

第14図は第13図に示したフィルタをカメラで捕えた原画像に施した結果を示す図である。この第14図から明らかなように、第13図に示した視野角区分を持ち、周辺視部の解像度をパラメータとしたフィルタをカメラで捕えると、周辺の画像の最大空間周波数 cpd が 3.0 以上で原画像と区別できないことがわかる。したがって中心視部を $14 \sim 20^\circ$ としたフィルタにおいては、周辺の最大空間周波数を 3 cpd 程度まで下げることが可能である。このようなフィルタを用いる

視力が回復するまでに、正しい瞳孔位置および視線を検出し、その点から透視投影画像を生成表示すればよい。

ところで、上述の実施例では、スクリーン注視点 $e p (s)$ の近傍 (中心視部) では細かい階層のモデルが選択され、周辺視部では粗い階層のモデルが選択されて表示される。このとき、周辺視にあたる部分では構造面が大きくなるため、構造面間に境界ができたり、中心視部との連続性が崩れたりすることなどが考えられる。このような不連続面は、空間周波数が高いため、周辺視で知覚されやすく違和感を生ずることがある。そこで、このような違和感を解消するために、スクリーン注視点 $e p (s)$ の周辺に高しきい遮断フィルタを被せることにより画像をぼかす方法が考えられる。

第13図はスクリーン注視点の周辺に被せられる高しきい遮断フィルタを示す図である。第13図を参照して、スクリーン注視点 $e p (s)$ の周辺 14° 以内ではフィルタなし (6.6 cpd の

ことにより、構造面の不連続性による違和感は低減される。

第15図はこの発明の一実施例の概略ブロック図である。この第15図に示した実施例では、視点が眼球であり、移動する場合であって、説明の簡略化のために表示対象を表示基準座標系で静止しているものとする。なお、第15図に示した太い実線部分が従来にない新規な手段である。

第15図を参照して、視点および視線検出手段10は表示基準座標系で眼球の視点および視線を検出する。対象座標系設定手段20は表示基準座標系で表示対象の原点位置と回転角 (角度) を指定する。距離計算手段30は視点および視線検出手段10の検出力、対象座標系設定手段20で指定された原点位置および回転角に応じて、視点から対象座標系原点までの距離を計算する。距離計算手段40は第15図に示していないもう1つの目の視線データを併用して、すなわち両方の視線が交わる点を空間注視点として求めたり、または片目の視線であっても視線の近傍にある対象座

特開平4-15772 (14)

標系の原点をみつけ、その原点をもって空間注視点としたり、あるいは対象座標系の原点から視線に降ろした垂線の距離を計算する。

3次元階層化データベース80には表示対象物体の構成面の領域の大きさを1つのパラメータとして階層的に記述されている。構成点/構成面生成手段50は表示基準座標系で指定された位置に対象の3次元モデルを生成する。すなわち、生成手段50は距離計算手段30によって求められた視点から対象原点までの距離、距離計算手段40によって求められた空間注視点から対象構成面までの距離、対象原点から視線までの距離などをパラメータとし、このパラメータの値を基準値と比較して対象の構成面の階層を決定し、3次元階層化データベース80からのデータを受取って、表示基準座標系において3次元モデルを生成する。なお、第15図の点線で囲まれた部分は上述のパラメータを用いて階層度を決定する処理手段101を構成している。

透視投影変換手段60は視点位置と上述の3次

元モデルを入力として、表示対象を2次元スクリーン画面に透視投影する。表示画像生成手段70は3次元階層化データベース80に対して物体の指定、構成面の指定、階層の指定を行なうことによって得られる構成面データを参照しながら、対象の構成面に着色などの模様づけをする。高域遮断フィルタ手段90はスクリーン注視点の周辺視域に被せる高域空間周波数を遮断する。表示手段100はレンヂキュラススクリーンなどが用いられ、対象物体を表示する。

第16図および第17図はこの発明の一実施例の動作を説明するためのフロー図である。

次に、第15図～第17図を参照して、この発明の一実施例の具体的な動作について説明する。今、前述の第8図を例として、表示基準座標系X(w)-Y(w)-Z(w)において、対象obj11～obj14が所定のところにあるように見える画像をスクリーンS1に生成することを考える。なお、視点の位置は瞳孔位置とし、視点は動くものとする。また、対象は説明の簡略化のため

めに表示基準座標系において静止しており、対象の3次元構造データは第2図に示したように、対象座標系で記述されており、かつ構成面は領域の大きさはパラメータとして階層化されている。

まず、ステップ(図示ではSPと略称する)SP1において、対象座標系設定手段20によって対象座標系原点の位置ベクトル $V_{o,j-1} = (X_{o,j-1}, Y_{o,j-1}, Z_{o,j-1})$ と対象座標系の回転角 $R_{o,j-1} = (\alpha_{o,j-1}, \beta_{o,j-1}, \gamma_{o,j-1})$ とが設定されて処理手段101に与えられる。ステップSP2において、視点および視線検出手段によって検出された視点位置 $V_{oe} = (X_{oe}, Y_{oe}, Z_{oe})$ は処理手段101に与えられる。ステップSP3において距離計算手段30は視点および視線検出手段10から与えられるその時刻における視点位置ベクトル V_{oe} を読取り、対象座標系原点の位置ベクトル $V_{o,j-1}$ と視点位置ベクトル V_{oe} とを用いて、2点間の距離 $dis1_{o,j-1} = |V_{o,j-1} - V_{oe}|$ を演算する。処理手段40はステップSP4において、第8図のd

3～d6に示す視線から対象座標原点までの距離 $dis2_{o,j-1}$ を求める。次に、生成手段50は距離計算手段30によって求められたパラメータ $dis1_{o,j-1}$ と処理手段40によって求められたパラメータ $dis2_{o,j-1}$ とを用いて、次の演算を行なう。

$$dis3_{o,j-1} = f(dis1_{o,j-1}, dis2_{o,j-1}) = A \cdot dis1_{o,j-1} + B \cdot dis2_{o,j-1}$$

上述の式はパラメータ $dis3_{o,j-1}$ の最も簡単な作成例である。なお、A、Bはここでは定数である。なお、人の視力特性を考慮するなどして、さらに複雑な式を作成してもよい。

次に、第17図に示すステップSP6において処理手段101はパラメータ $dis3_{o,j-1}$ と基準値 $Th3$ とを比較し、パラメータ $dis3_{o,j-1}$ が基準値 $Th3$ よりも大きければ、すなわち第8図の対象obj14のように遠くにありかつ視線から離れていれば、ステップSP7において、3次元階層化データベース80から第2図(d)

特開平4-15772 (15)

に示すような階層度の低いモデルを選択し、ステップSP8において、対象座標系原点の位置ベクトル V_{obj1} の位置に、対象座標系の回転角 R_{obj1} の角度で3次元モデルを生成する。

処理手段101はステップSP6においてパラメータ $dis3_{obj1}$ が基準値 $Th3$ よりも小さいことを判別し、さらにステップSP9において基準値 $Th2$ よりも大きいことを判別したとき、すなわち第8図に示す対象 $obj12$, $obj13$ のような場合には、ステップSP10において第2図(c)に示した階層モデルを3次元階層化データベース80から選択する。しかし、処理手段101がステップSP9においてパラメータ $dis3_{obj1}$ が基準値 $Th2$ よりも小さいことを判別すると、ステップSP12において、第2図(b)に示す階層モデル、すなわち第8図に示すような対象 $obj14$ のモデルを選択する。

上述のようにして、処理手段101は3次元階層化データベース80から全ての対象(1~i)についてモデルデータの読取を行なう。透視投影

変換手段60はステップSP14において、その対象の透視投影変換画像 h_{obj11} , h_{obj12} , h_{obj13} , h_{obj14} を生成する。ステップSP15において、表示画像生成手段70は3次元階層化データベース80に蓄積された各構成面模様データを読取り、2次元画面の対象構成面に模様づけする。さらに、高域遮断フィルタ手段90はスクリーン注視点の周辺視域に被せる高域空間周波数を遮断し、表示手段100はステップSP16において生成された対象画像を表示する。

第18図はこの発明の他の実施例の動作を説明するためのフロー図であり、視点から各対象座標系原点までの距離を第1のパラメータとし、視線から各対象座標系原点までの距離を比較し、それに最も近い対象原点を空間注視点として推定し、この点からの距離を第2のパラメータとして用いる例であって、ステップSP1~SP4は第16図と同じであり、ステップSP21~SP23の処理が行なわれる点が第16図と異なる。ステップSP4において、第8図のd3~d6に示す視

線から対象座標系原点までの距離 dis_{obj1} を求めた後、ステップSP21において距離 $dis2_{obj1}$ の中で最も小さい $obj-min$ を探し、その対象原点を空間注視点として推定する。第8図で説明すると、ステップSP22において、 $obj11$ の原点を仮に空間注視点とし、この点から他の対象 $obj12$, $obj13$, $obj14$ の原点までの距離 $dis4_{obj1}$ を計算する。距離計算手段40は、そのパラメータ $dis1_{obj1}$ と $dis4_{obj1}$ を用いて、次式の演算を行なう。

$$dis3_{obj1} = f(dis1_{obj1}) \cdot g(dis4_{obj1}) = C \cdot dis1_{obj1} \cdot dis4_{obj1}$$

上述の式はパラメータ $dis3_{obj1}$ の最も簡単な作成例である。Cはここでは定数としている。以下、第17図に示したステップSP6ないしSP16の処理が行なわれる。なお、この実施例においても、人の視力特性を考慮するなどして、さらに複雑な式を作成してもよい。

第19図はこの発明の他の実施例を示す概略ブロック図である。この実施例は、構成面の階層度を選択するためのパラメータの作成において、対象座標系の原点だけでなく、対象構成面を利用できるように拡張したものであって、以下の点を除いて前述の第15図と同じである。すなわち、処理手段102は上位階層生成手段21と距離計算手段31と41とを含む。上位階層生成手段21は表示基準座標系から見て、対象座標系が設定される位置に該対象の概略構成すなわち階層度の粗い(上位階層)構成面を生成する。階層度が上位であるため、この処理は高速に行なうことが可能である。距離計算手段31は視点から概略構成面の基点例えば面の中央までの距離を計算する。距離計算手段41は、視線が概略構成面と交差する点を空間注視点とし、またはこの近傍の構成面の基点を計算したり、あるいは概略構成面の基点などから視線に降ろした垂線の距離を計算する。構成点/構成面生成手段50は、対象の3次元モデルを生成するものであり、①の場合空間注視点か

特開平4-15772 (16)

らの距離をパラメータとして基準値 T_h と比較しながら、3次元階層化データベース80の中から適当な階層度のデータを取込み、対象の構成点/構成面を生成する。②の場合には、視線に降ろした垂線の距離をパラメータとして、基準値 T_h と比較しながら3次元階層化データベース80の中から適当な階層度のデータを取込み、対象の構成点/構成面を生成する。なお、この実施例においては、第15図に示した高域遮断フィルタ手段90が省略されている。

第20図はこの発明の応用例を示す図である。この第20図に示した例は、コンピュータグラフィックス画像を臨場感豊かに観測できるようにしたものである。視点は瞳孔または虹彩の中心位置に対応している。この視点または視線は図示しない視線検出装置によって視点検出1が行なわれるとともに、図示しない検出装置によって手の位置および形状の検出2が行なわれる。これらのデータは意図理解処理部3に与えられて解析され、観測者の注視している対象および次に行なおうとし

とができる。

さらに、表示基準座標系の原点または視点から遠くにある物体について、計算量をさらに大幅に減らすことができる。逆に、この余った時間で近くにある物体について細かい部分まで精細に計算できる。その結果、さらに高速で品質の高い画像生成表示が可能となる。従来と画像品質を同程度とすると、処理速度は1/数100以下に大幅に短くなると考えられる。

視線の検出により、表示画像の各部分の精細度を適応的に制御できるため、実空間を見たときに網膜上に写る映像に近いものを、スクリーンを見たときに再現することができ、自然で迫力のある画像が生成表示できる。さらに、両眼立体視コンピュータグラフィックスについても高速、高品質な表示が可能となる。

さらに、視線の動きを予測した表示により、眼球などの動きに同期した画像が生成されるため、画像表示の遅れによる違和感が少なく、画像との一体感が向上する。

ている作業などが推定される。この情報をもとにして、三次元形状データベース4を参照しつつ三次元モデル世界6の更新5が行なわれ、三次元モデル世界6が高速で生成され、実時間立体コンピュータグラフィックスによって画像生成7が行なわれ、スクリーン8に投影変換され、実時間でスクリーンに表示される。

〔発明の効果〕

以上のように、この発明によれば、注視対象の近傍とその周辺でモデリングの階層に差をつけるようにしたため、計算量を大幅に減らすことができる。逆に、この余った時間で、注視点近傍を精細に計算できる。その結果、高速で品質の高い画像生成表示が可能となる。異行の少ない、すなわちZ軸方向に成分の少ない表示対象をこの発明による方法でスクリーンに投影した場合をシミュレーションすると、視野角30°のスクリーンの場合で処理時間は従来の1/3以下となり、60°の場合1/4以下となった。異行方向がある対象では、処理時間はさらにこの2乗で少なくするこ

また、この発明は臨場感豊かな知的符号化通信のコンピュータグラフィックス処理部分、立体視コンピュータグラフィックスに特に利用効果大きい。その他、処理の高速性と画像の高品質性が要求される多くのコンピュータグラフィックス分野に利用可能である。

4. 図面の簡単な説明

第1図はこの発明の原理を示す図である。第2図は第1図に示した表示対象の階層的なモデリングを示す図である。第3図および第4図はスクリーン注視点 $e_p(s)$ に対応するモデル上の点を求める方法を説明するための図である。第5図はモデルの階層を選択する方法を説明するための図である。第6図はこの発明の他の例におけるモデルの階層を選択する方法を説明するための図である。第7図は2次および3次のBézier曲線を示す図である。第8図はこの発明のさらに他の例であって視点を観測者の眼球光学視点にした例を示す図である。第9図は表示対象の構成面の位置がその面の中心位置で与えられている実施例を

特開平4-15772 (17)

示す図である。第10図は人間の眼が平面の一点を注視したときのその周辺の視力を測定し、注視点からの偏角と相対視力との関係を示す図である。第11図はこの発明のさらに他の例を示す図である。第12図はこの発明のさらに他の例の原理を示す図であって、観測者の動きによる遅れをさらに少なくする例を示す図である。第13図はスクリーン注視点の周辺に被せられる高しきい遮断フィルタを示す図である。第14図は第13図に示したフィルタをカメラで捕えた原画像に施した結果を示す図である。第15図はこの発明の一実施例の概略ブロック図である。第16図および第17図はこの発明の一実施例の動作を説明するためのフロー図である。第18図は、この発明の他の実施例の動作を説明するためのフロー図である。第19図はこの発明のその他の実施例の概略ブロック図である。第20図はこの発明の応用例を示す図である。第21図は従来の代表的な三次元画像生成方法を示す図である。第22図は第21図に示した座標系を $Y(w)$ 軸上から見た図である。

第23図は第21図に示した座標系を $Y(e)$ 軸上でかつ $Z(e)$ 軸方向に見た図である。第24図は第23図に示した表示対象の図である。

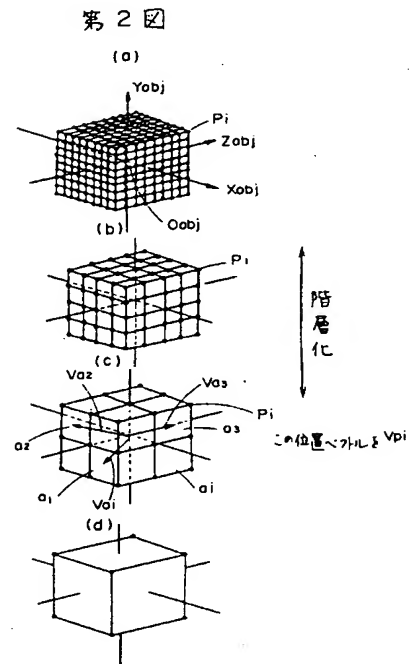
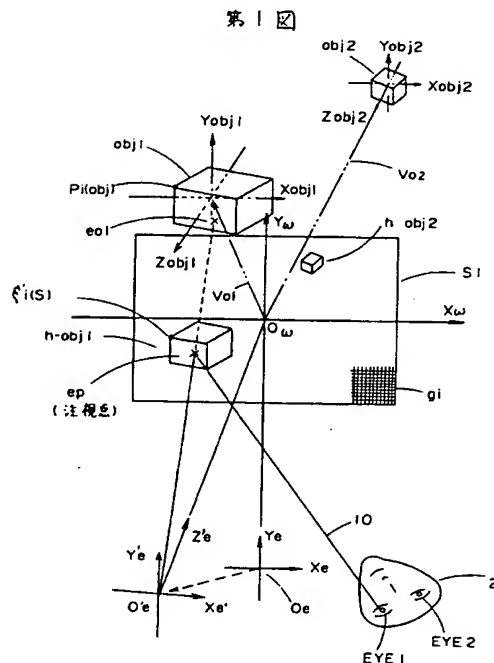
図において、 obj は表示基準座標系で既知な表示対象、 $P_i(obj)$ は対象座標系で示された表示対象の構造点、 $S1$ はスクリーン、 $h-obj$ は透視投影画像、 $O(e)$ は視点、 $ep(s)$ はスクリーン注視点、 $eo(w)$ は空間注視点、 Th は距離を示す。

特許出願人 株式会社エイ・ティ・アール通信
システム研究所

日本電信電話株式会社

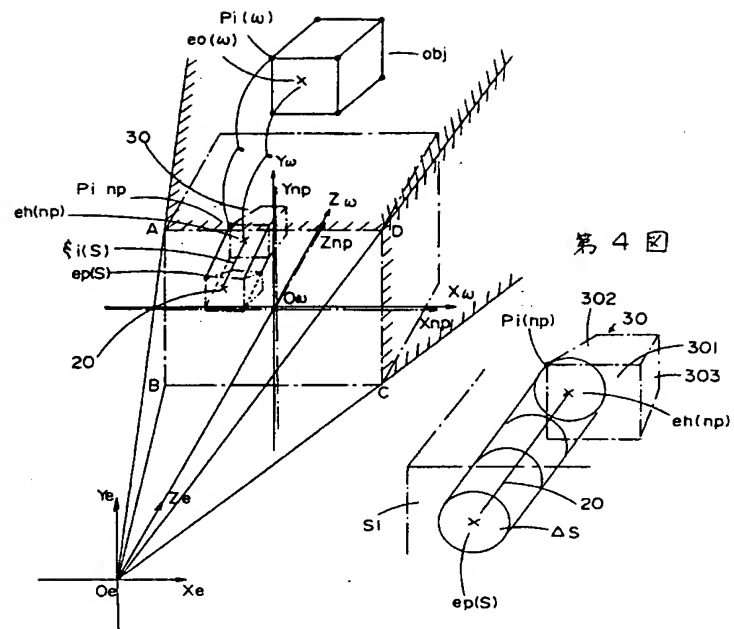
代理人 弁理士 深見 久郎

(ほか2名)

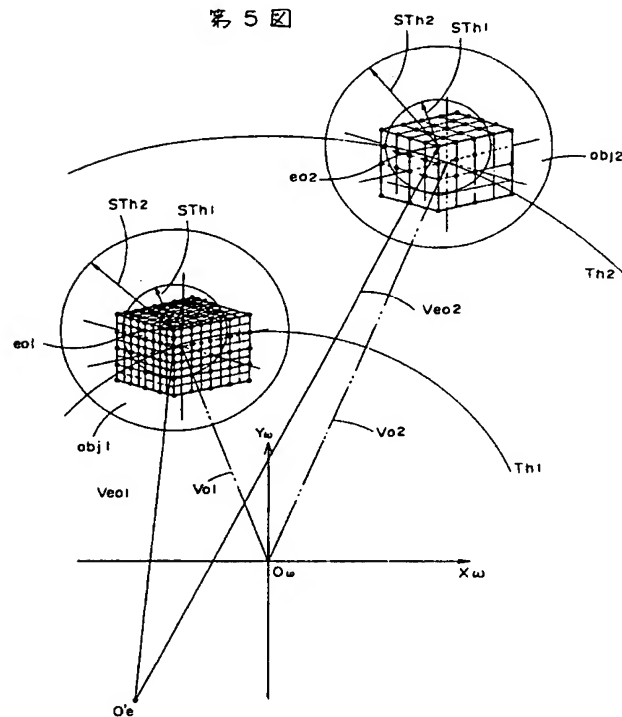


特開平4-15772 (18)

第 3 図

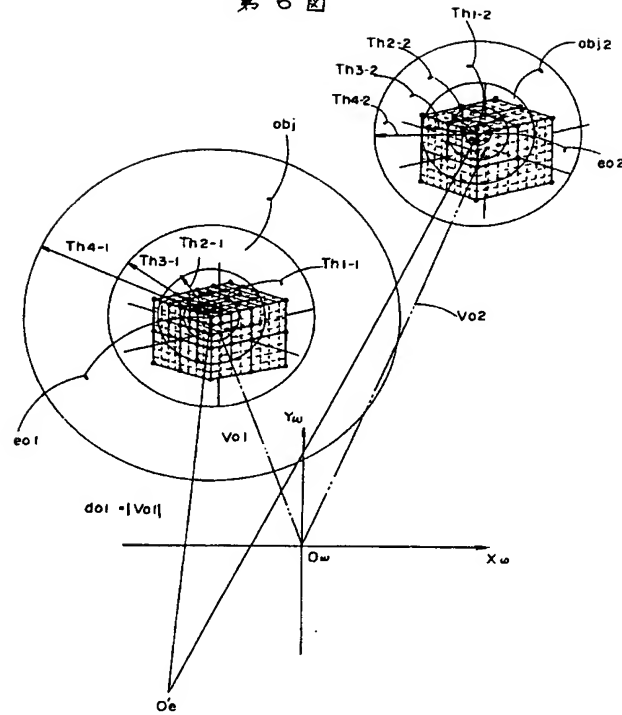


第 5 図

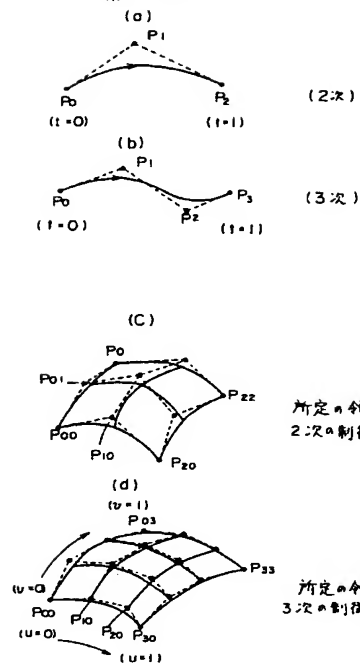


特開平4-15772 (19)

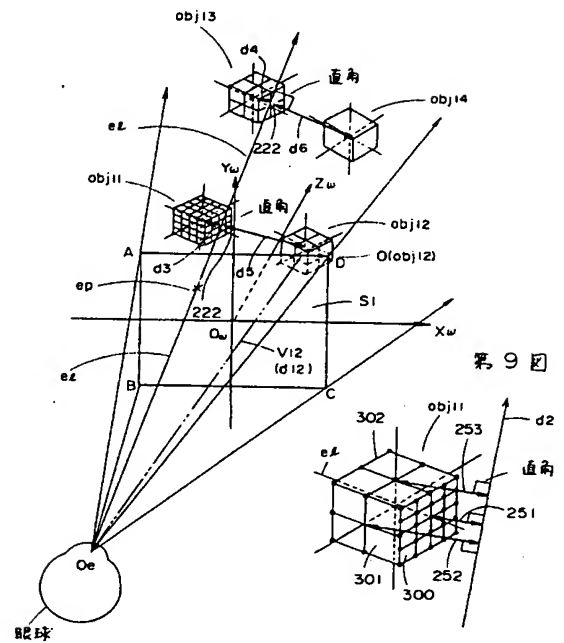
第 6 図



第 7 図

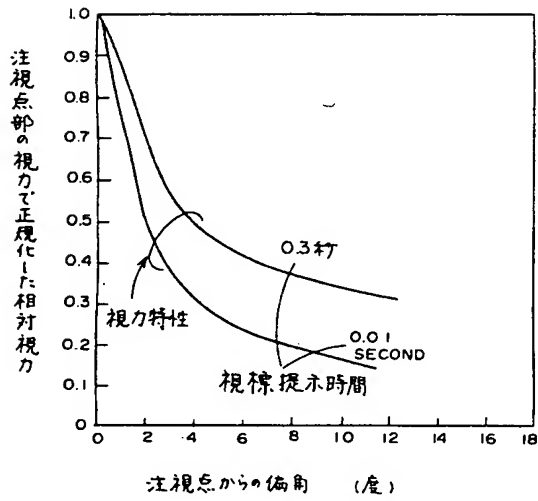


第 8 図

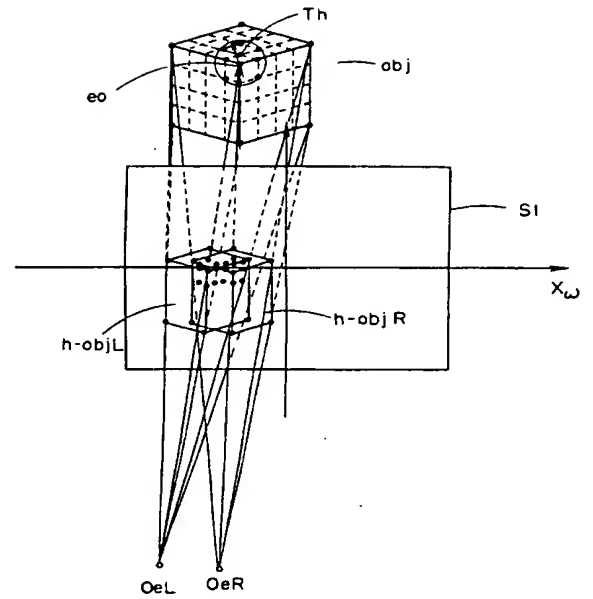


特開平4-15772 (20)

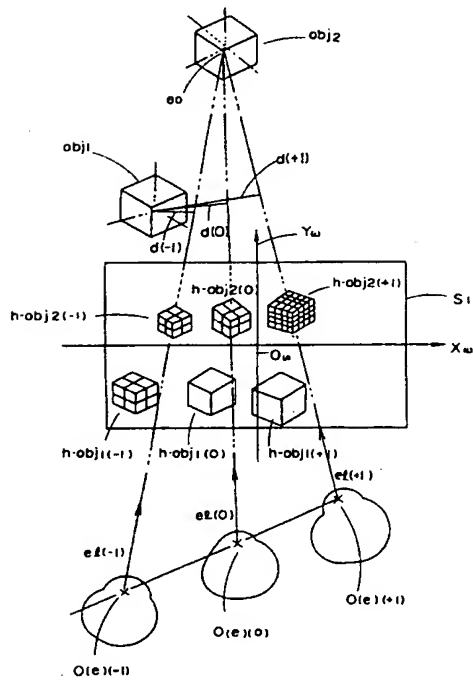
第10図



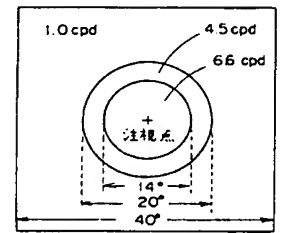
第11図



第12図

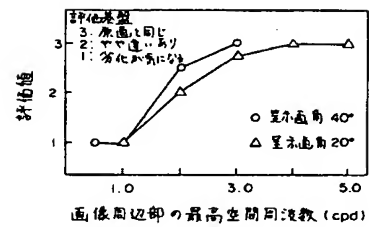


第13図

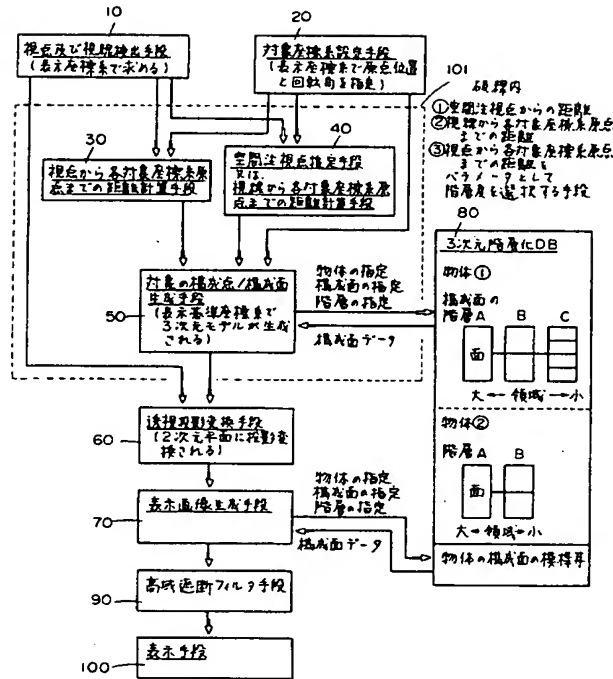


処理内容の説明 (画像03)

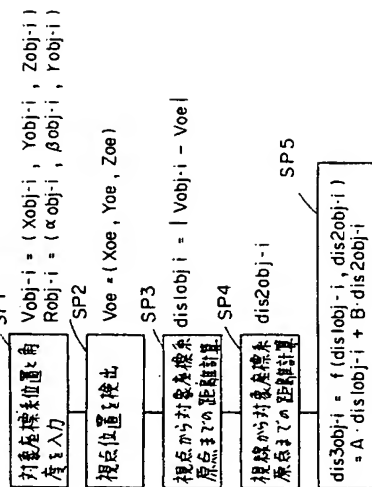
第14図



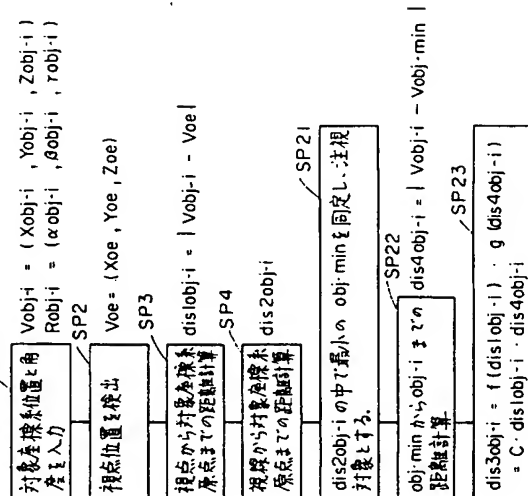
第15図



第16図

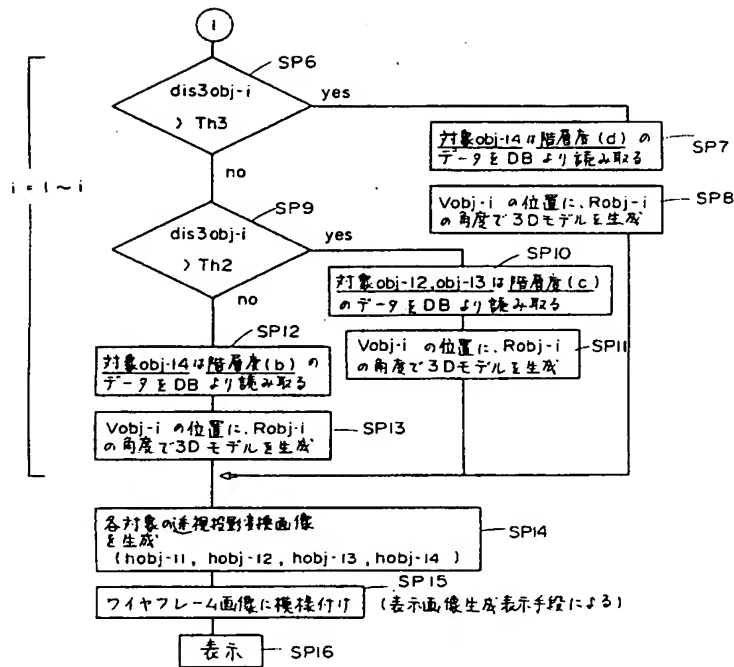


第18図

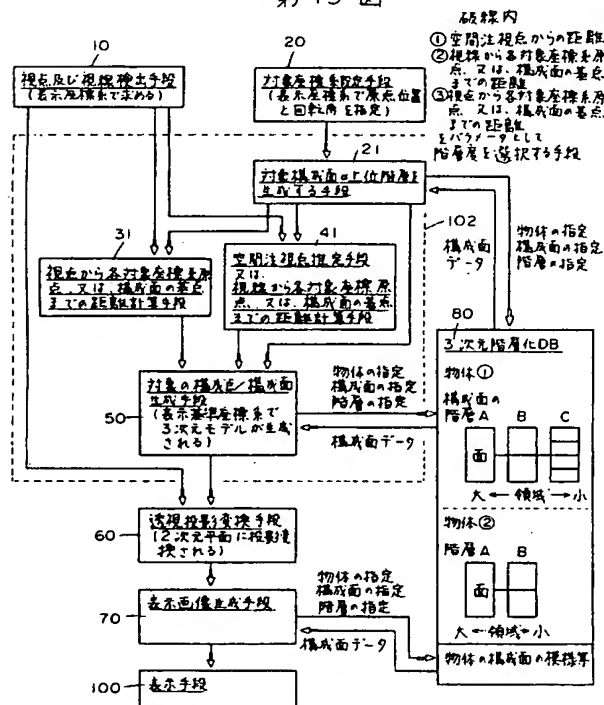


特開平4-15772 (22)

第 17 図

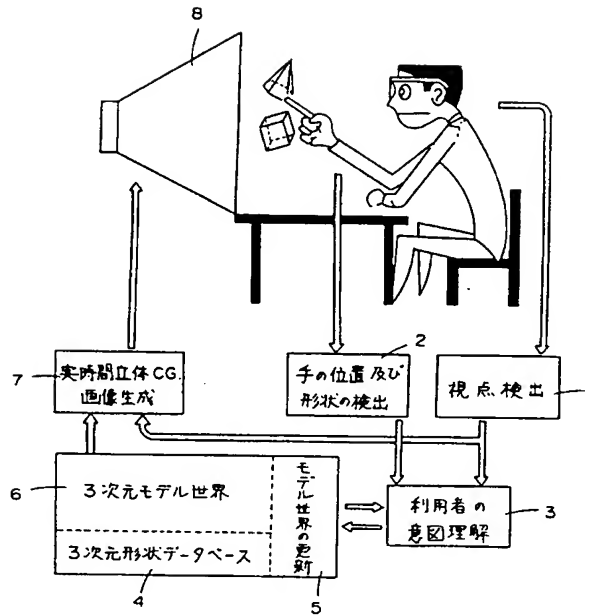


第 19 図

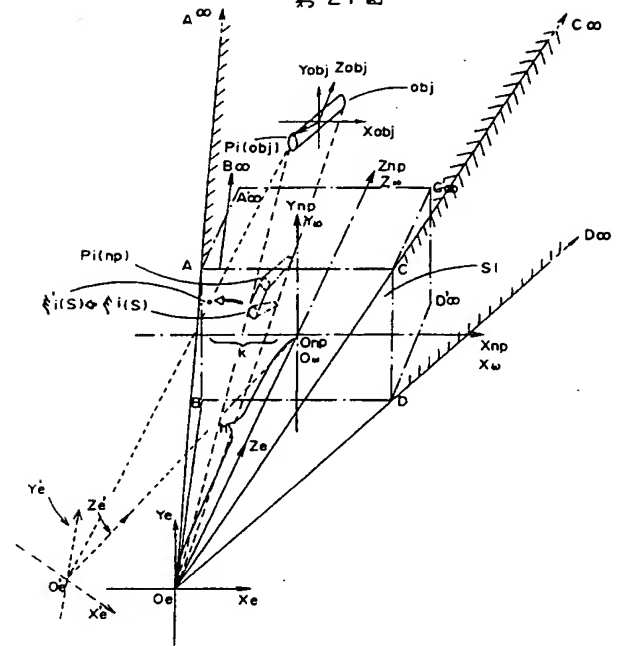


特開平4-15772 (23)

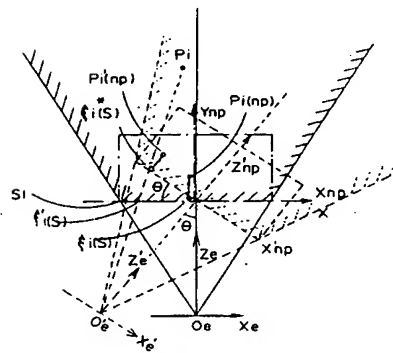
第 20 図



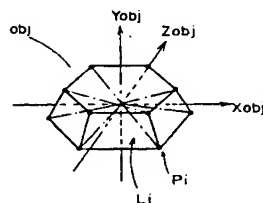
第 21 図



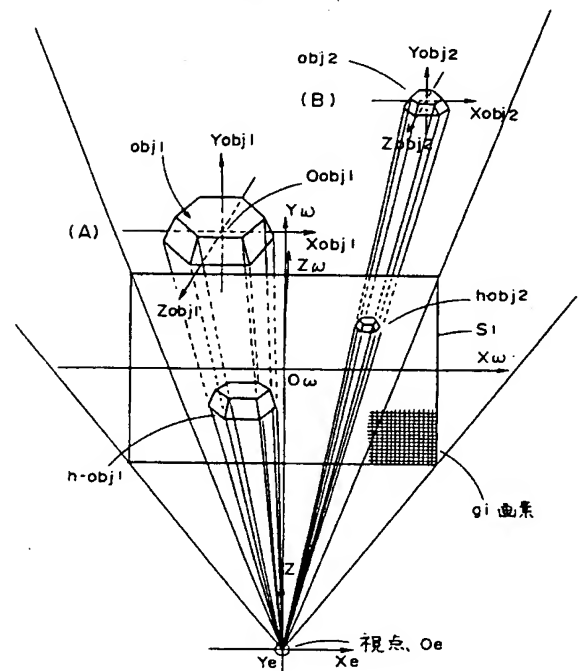
第 22 図



第 24 図



第 23 図



特開平4-15772 (24)

第1頁の続き

⑫発明者	石橋	聡	京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5番地 株式会社 エイ・ティ・アール通信システム研究所内
⑬発明者	秋山	健二	東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式 会社内
⑭発明者	鉄谷	信二	東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式 会社内
⑮発明者	山口	博幸	東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式 会社内